

Taneli Panttila

# **LNG-pienoisterminaalien viranomaismääräykset**

Opinnäytetyö

Kevät 2014

Tekniikan yksikkö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma



SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU

## Opinnäytetyön tiivistelmä

Koulutusyksikkö: Tekniikka

Koulutusohjelma: Kone- ja tuotantotekniikka

Suuntautumisvaihtoehto: Kone- ja tuotantotekniikka

Tekijä: Taneli Panttila

Työn nimi: LNG-pienoisterminaalien viranomaismääräykset

Ohjaaja: Kimmo Kitinoja

Vuosi:	2014	Sivumäärä: 39	Liitteiden lukumäärä: 2
--------	------	---------------	-------------------------

---

Tässä opinnäytetyössä laadittiin tietopaketti maalla sijaitsevan nesteytetyn maakaasun terminaalien viranomaismääräyksistä ja -vaatimuksista. Pienoisterminaalissa on painelaite-direktiivin mukaisia laitteita. Nämä laitteet pitää valmistaa ja suunnitella direktiivin mukaan. Maakaasun varastoinnista ja käsittelystä säädetään omassa laissaan. Laissa vaaditaan varastolle haettavaksi rakennuslupa, mikäli maakaasun määrä ylittää 5 t. Jos varastoitava määrä ylittää 50 t, pitää ottaa huomioon myös suuronnettomuus vaaraa koskevat velvoitteet.

Maakaasu nesteytetään jäähdyttämällä se alle  $-162\text{ °C}$  lämpötilaan. Se sisältää pääasiassa metaania (85 %), etaania, propaania, butaania ja nitrogeeniä. Matala lämpötila asettaa materiaaleille tarkat vaatimukset, koska niiden lujuusominaisuuksien täytyy säilyä erittäin alhaisissakin lämpötiloissa. Materiaalit, joita LNG:n kanssa kosketuksissa voidaan käyttää, ovat käytännössä austeniittisiä ruostumattomia teräksiä tai nikkeliteräksiä. Pienoisterminaaleissa LNG varastoidaan normaalisti kaksivaippaisessa paineastiassa, joiden välissä on tyhjiö lämpöeristeenä.

LNG luokitellaan vaaralliseksi aineeksi, mutta sen vaarallisuus tulee esiin vasta höyrystymisen jälkeen. Ennen höyrystymistä suurin sen aiheuttama vaara on paleltumat, joilta voidaan välttyä eristämällä sen kanssa kosketuksissa olevat laitteet. Sisätiloissa mahdolliset vuodot putkistoissa aiheuttavat riskejä, mutta ulkona metaani haihtuu erittäin nopeasti ilmakehään. Haihtuneen kaasun riskejä pienennetään hyvällä ilmanvaihdolla sisätiloissa.

Asiasanat: maakaasu, nesteytys, terminaalit, painelaite, suunnittelu

SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## **Thesis abstract**

Faculty: School of Technology

Degree programme: Mechanical and Production Engineering

Specialisation: Mechanical and Production Engineering

Author: Taneli Panttila

Title of thesis: Authoritative requirements for the LNG satellite terminal

Supervisor: Kimmo Kitinoja

Year: 2014

Number of pages: 39

Number of appendices: 2

---

The LNG satellite terminal includes pressured vessel(s) and piping. Those are needed accordingly to the Pressure Equipment Directive. Storing natural gas needs also different types of licenses depending on how much the capacity of the storage is. If the storage capacity is less than 50t only a construction permit is demanded. If the capacity is more than 50t the risk of a major disaster is also demanded to be taken care of.

Natural gas is liquefied by cooling it under  $-162^{\circ}\text{C}$ . Natural gas is a mixture of methane, which is the major component by 85% volume, ethane, propane, butane and small amounts of heavier hydrocarbons and impurities. Because of the low temperature of the LNG materials that are in a direct contact with it they need to be chosen carefully. The materials that retain their tensile strengths also in the low temperatures are austenitic stainless steel or nickel steels.

LNG is classified to be a hazardous substance but it has to be noticed that its hazardousness emerges only after the regasification. Before the regasification LNG can cause frostbites if it is handled carelessly. If there are leaks in the pipelines of LNG it is evaporated quickly to the atmosphere. If the leak is inside the building it can cause serious disaster if the rate of air exchange is too slow.

Keywords: natural gas, liquefaction, terminal, pressured vessel, manufacturing

## SISÄLTÖ

Opinnäytetyön tiivistelmä.....	2
Thesis abstract.....	3
SISÄLTÖ .....	4
Kuvio- ja taulukkoluettelo.....	6
Käytetyt termit ja lyhenteet .....	7
1 JOHDANTO .....	8
2 NESTEYTETTY MAAKAASU SUOMESSA JA EUROOPASSA.....	9
2.1 LNG Suomessa.....	9
2.2 LNG Euroopassa.....	10
3 NESTEYTETYN MAAKAASUN OMINAISUUDET.....	11
3.1 Kemiallinen koostumus .....	11
3.2 Kiehuminen .....	11
3.3 Vaarallisuus .....	12
4 LNG-PROSESSIKETJU .....	13
5 LNG-PIENOISTERMINAALIN RAKENNE JA TOIMINTA .....	14
5.1 Terminaalin rakenne .....	14
5.2 Tankkausasema.....	14
5.3 Säiliö .....	15
5.4 Höyrystinyksikkö .....	15
5.4.1 Open Rack Vaporisers (ORV).....	16
5.4.2 Intermediate Fluid Vaporisers (IFV) .....	16
5.4.3 Submerged Combustion Vaporisers (SCV).....	17
5.4.4 Ambient Air Vaporisers (AAV).....	18
5.5 Prosessinhallintajärjestelmät.....	18
5.6 Esijäähdytysyksikkö .....	19
6 LNG-PIENOISTERMINAALIA KOSKEVAT LAIT .....	20
6.1 Maakaasun varastointi .....	20
6.2 Painelaitteet .....	22
6.2.1 Tarkastuslaitokset.....	22

6.2.2	Luokittelu.....	24
6.2.3	Suunnittelu .....	26
6.2.4	Valmistus .....	27
6.2.5	CE-merkintä .....	28
7	LNG-PIENOISTERMINAALIN SUUNNITTELU .....	29
7.1	Turvallisuussuunnitelma.....	29
7.2	LNG-Säiliö.....	30
7.3	Ylipaine .....	31
7.4	Materiaalisuunnittelu .....	31
7.5	Perustukset .....	32
7.6	LNG-terminaalin putkistot.....	32
7.7	Täyttöasema .....	33
8	YHTEENVETO.....	34
9	OMAA POHDINTAA.....	36
	LÄHTEET .....	37
	LIITTEET .....	40

## Kuvio- ja taulukkoluetelo

Kuvio 1. LNG:n prosessiketjun eri vaiheet (LNG Chain Gross. 2010. GOCE) .....	13
Kuvio 2. Esimerkki LNG pienoisterminaalista ja tankkausasemasta (SFS-EN 13645:2001, 18).....	14
Kuvio 3. Open Rack Vaporisers periaatekuva. (Tokyo Gas [viitattu 24.3.2014])...	16
Kuvio 4. Intermediate Fluid Vaporiser periaatekuva (Kawamoto. 2008) .....	17
Kuvio 5. Submerged Combustion Vaporiser periaatekuva (Kawamoto, 2008) .....	17
Kuvio 6. Ambient Air Vaporiser (Exponent, [viitattu 4.4.2014]).....	18
 Taulukko 1 Muutamien aineiden kiehumispisteitä (Engineer tool box [viitattu 4.3.2014]).....	11
Taulukko 2. Painelaitteen luokittelu (TUKES OPAS PAINELAITTEET [Viitattu 17.3.2014]).....	25
Taulukko 3 Vaatimustenmukaisuudet (TUKES OPAS PAINELAITTEET [Viitattu 17.3.2014], 7).....	26
Taulukko 4. Poikkeaman muodostaminen avainsanan ja prosessisuureen avulla (Poikkeamatarkastelu (HAZOP) – Menetelmän kuvaus, Viitattu 1.4.2014).....	30

## Käytetyt termit ja lyhenteet

<b>LNG</b>	Liquified Natural Gas eli nesteytetty maakaasu
<b>Onshore</b>	Maalla sijaitseva
<b>NG</b>	Natural Gas eli maakaasu
<b>Painelaitteet</b>	Painelaitteita ovat esimerkiksi painesäiliöt, höyry ja kuumavesikattilat sekä putkistot
<b>Tukes</b>	Turvatekniikan keskus
<b>PS</b>	Suurin sallittu käyttöpaine, yksikkö bar
<b>V</b>	Tilavuus, yksikkö L
<b>DN</b>	Nimellissuuruus, pyöristetty viitearvo
<b>KTM</b>	Kauppa- ja teollisuusministeriö
<b>CEN</b>	Euroopan standardisoimiskomitea
<b>HAZOP</b>	Poikkeamatarkastelu, jolla pyritään tunnistamaan prosessin vaaratekijöitä

# 1 JOHDANTO

Tässä työssä perehdytään maalla sijaitsevan LNG-pienoistermiinalin rakentamiseen, viranomaismääräyksiin ja vaatimuksiin sekä mietitään, miten näitä noudatetaan. Työssä perehdytään myös LNG-tuotantoprosessiin. Työ on Seinäjoen ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan insinööriopintoihin kuuluva opinnäytetyö, joka toteutetaan länsirannikolla toimivalle konepajalle.

LNG-pienoistermiinalissa nesteytetty maakaasu höyrystetään takaisin kaasumaiseksi, jolloin sitä voidaan käyttää energialähteenä. Pienoistermiinali sisältää säiliön, putkistot, höyrystimen ja automaatiojärjestelmän, jolla höyrystymisprosessia ohjataan. Painelaitteita koskevat monet määräykset ja vaatimukset. Maakaasun varastointiin tarvitaan lupamenettelyt, jotka riippuvat termiinalin koosta.

Opinnäytetyössä perehdytään myös maakaasun yleisiin ominaisuuksiin ja prosessiin, jossa maakaasu nesteytetään, sekä prosessiin, jossa maakaasu jälleen höyrystetään. Suunniteltaessa LNG-laitoksia on tärkeää ymmärtää nesteytetyn maakaasun kemialliset ja fysikaaliset ominaisuudet ja sen käyttäytyminen eri tilanteissa työturvallisuusriskien arvioimiseksi ja hallitsemiseksi. Opinnäytetyössä selvitetään millainen on turvallinen ja viranomaismääräykset täyttävä LNG- pienoistermiinali.

Nesteytetyn maakaasun (LNG) mahdollisuuksia on alettu miettiä niin vaihtoehtoisena liikenteen polttoaineena, kuin teollisuuden energialähteenä yhä enemmän sen vähäisten päästöjen vuoksi. EU:n rikkidirektiivin ansiosta Suomen alueella liikennöi jo yksi LNG:tä polttoaineenaan käyttävä matkustaja-alus Viking Grace ja loppuvuodesta 2013 valmistunut rajavartiolaitoksen alus TURVA.



## 2 NESTEYTETTY MAAKAASU SUOMESSA JA EUROOPASSA

### 2.1 LNG Suomessa

Maakaasua käytetään Suomessa pääasiassa sähkön ja lämmön tuotantoon sekä näiden yhteistuotantoon käsittäen koko maan primäärienergiatuotannosta noin 10 %. Käyttö rajoittuu kuitenkin vain runkoverkkojen läheisyyteen, Suomessa tämä alue on Kaakkois-Suomesta pääkaupunkiseudulle, Pirkanmaalle ja osaan läntistä Uusimaata (Maakaasu 2014). LNG mahdollistaa maakaasun laajemman käytön myös runkoverkon ulkopuolella. Suomessa tuotetaan tällä hetkellä nesteytettyä maakaasua Porvoon Kilpilahdessa. LNG-tuotantolaitos koostuu prosessilaitoksesta, jonka tuotantokapasiteetti on 20 000 t/a ja sen yhteydessä on kolme 700 m<sup>3</sup> LNG-tuotesäiliötä. (Tuotantolaitokset [Viitattu 7.2.2014].)

Gasum ja Aga suunnittelevat Porin Tahkoluotoon valmistuvaksi LNG-tuontiterminaalia, joka olisi Suomen ensimmäinen. Vielä ei ole varmaa, kumpi terminaalin rakentaa. Hankkeet odottavat tällä hetkellä investointitukipäätöstä työ- ja elinkeinoministeriöltä. Mikäli jompikumpi hankkeista toteutuu sen rakentaminen alkaa jo tämän vuoden puolella ja terminaalin tulisi valmistua syksyllä 2016. (Pihlava 2014.)

Vuoteen 2017 on määrä valmistua Tornion Röytän satamaan Manga LNG Oy:n LNG-terminaali, joka palvelee Pohjois-Suomen ja Pohjois-Ruotsin asiakasterminaaleja. Terminaalin valmistaa Wärtsilä. Nämä asiakasterminaalit tulevat käytännössä olemaan pienoisterminaaleja, jotka ottavat LNG:tä vastaan ja höyrystävät siitä maakaasua. Terminaalista rakennetaan myös siirtoputkisto Röyttän teollisuusalueelle. (Tornion Manga LNG - hanke [Viitattu 24.3.2014].)

Viro ja Suomi ovat vääntäneet LNG-terminaalin paikasta kättä jo muutaman vuoden. Sekä Suomella, Virolla että muilla Baltian mailla on kiire rakentaa kaasuterminaali, koska terminaali lopettaisi riippuvuuden yhdestä maakaasun toimittajasta, Venäjästä ja mahdollistaisi kilpaillut markkinat. Suurterminaalin olisi tarkoitus yhdistää Itämeren ylitse kulkevalla maakaasuputkella maat toisiinsa, jolloin molem-

mat pääsisivät eroon yhden maakaasun toimittajan hintapolitiikasta. (Pöysä 2014.)

## **2.2 LNG Euroopassa**

Eurooppalaisten LNG-terminaalien kapasiteetti höyrystää ja syöttää kaasua maakaasuverkostoon on kaksinkertaistunut viimeisen viiden vuoden aikana (Ahlnäs 2012). Myös Euroopassa halutaan vähentää riippuvuutta Venäjän maakaasuun, missä on osaksi onnistuttukin. LNG:n osuus maakaasun tuonnista on muutamassa vuodessa noussut 15 prosentista lähes 20 prosenttiin. Suurin osa Eurooppaan tuotavasta nesteytetystä maakaasusta tuodaan Qatarista (Isotalo 2013). Yhdysvalloissa on kuitenkin päästy liuskekaasun avulla omavaraisuuteen maakaasun tuotannossa ja noustu jopa maailman kärkeen kaasuntuottajien joukossa. Siellä myös mietitään maakaasun myyntiä Euroopan alueelle (Vanamo 2014).

### 3 NESTEYTETYN MAAKAASUN OMINAISUUDET

#### 3.1 Kemiallinen koostumus

LNG on maakaasua, joka on lämpötilaa jäähdyttämällä saatu nestemäiseksi. Normaalissa ilmanpaineessa sen lämpötila on korkeintaan  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ . LNG:n tilavuus on noin 600 kertaa pienempi kuin maakaasun (maakaasun ollessa noin  $+15$ -asteista). Nesteyttynä maakaasun paino on vain  $458\text{ kg/m}^3$ , joten se on yli puolet vettä kevyempää. LNG on väritöntä ja mautonta ja se näyttää kiehuvalta vedeltä, kun pääsee kosketuksiin ilmakehän lämpötilan ja paineen kanssa. (LNG Information Paper no.1 2009.)

Maakaasu on fossiilinen polttoaine, joka tarkoittaa että se on syntynyt miljoonia vuosia vanhoista orgaanisista yhdisteistä. Pääaine maakaasussa on metaani, jota on aina yli 85 %, muita aineita ovat etaani, propaani, butaani ja nitrogeeni sekä pieniä määriä joitain hydrokarbonaatteja. (LNG Information Paper no.1 2009.)

#### 3.2 Kiehuminen

Kiehumispiste määrittelee pisteen, jolloin neste muuttuu jälleen kaasuksi. LNG:n kiehumispiste on noin  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ , riippuen sen koostumuksesta. Taulukko 1 näyttää LNG:n kiehumispisteen suhteessa muutamaan muuhun yleisesti tunnettuun kaasuun ja absoluuttiseen nollapisteeseen.

Taulukko 1 Muutamien aineiden kiehumispisteitä (Engineer tool box [viitattu 4.3.2014]).

Celsius (astetta C)	Aine
100	Vesi kiehuu
-42	Propaani kiehuu
-162	LNG kiehuu
-183	Happi kiehuu
-270	Helium kiehuu
-273	Absoluuttinen nollapiste

Leimahdus on ominaisuus, joka tekee maakaasusta energialähteen ja samasta syystä maakaasu leimahtaessaan saattaa aiheuttaa turvallisuus riskin. On tärkeää

huomata, että maakaasu on leimahtavaa, mutta nesteytetty maakaasu ei ole, joltuen hapenpuutteesta nesteessä. Leimahtamiseen tarvitaan kolme asiaa; polttoaine, happi ja sytyttäjä. Jonkin näistä asioista puuttuessa, ei leimahdusta tapahdu. Nesteytetyssä muodossa ollessaan maakaasu on liian rikasta palaakseen. (LNG Information Paper n.1 2009 )

### **3.3 Vaarallisuus**

LNG luokitellaan käyttöturvallisuustiedotteen mukaan erittäin helposti syttyväksi kaasuksi, joka voi ilmaan sekoittuessaan ja kuumentuessaan räjähtää. Se voi aiheuttaa paleltumavammoja ja huomattavan altistumisen jälkeen on syytä hakeutua lääkärin hoitoon, ensiapuna käytetään runsaalla vedellä huuhtelua. LNG luokitellaan vaarallisten aineiden kuljetusluokkaan 2. (LNG käyttöturvallisuustiedote, 2012, 9.)

Vaikka LNG käyttöturvallisuustiedotteessa määritellään vaaralliseksi, täytyy ottaa huomioon, että suurin osa sen vaarallisuudesta ilmenee vasta höyrystymisen jälkeen. Tämän vuoksi käsiteltäessä sitä on syytä huomioida sen mahdollinen höyrystyminen. Sisätiloissa mahdolliset vuodot voivat aiheuttaa riskejä, mutta ulkona metaani haihtuu erittäin nopeasti ilmakehään. Sisätiloissa tulee siis myös huolehtia hyvästä ilmanvaihdosta, jos on olemassa riski että LNG:tä pääsee vuotamaan ja höyrystymään. (LNG Information Paper no.1 2009.)

## 4 LNG-PROSESSIKETJU

Ensimmäinen vaihe prosessia on erottaa maakaasu maaperästä. Maakaasua, joka pumpataan maaperästä, kutsutaan raakakaasuksi. Aikaisemmin tämä raakakaasu, jota saatiin öljynporauksien yhteydessä, meni hukkaan ja poltettiin soihdulla öljypumppaamoiden yläpuolella. Nykyään tästä raakakaasusta voidaan tehdä LNG:tä. (LNG Information Paper no.2 2009.)

Toisessa vaiheessa prosessia raakakaasu puhdistetaan hiilidioksidista, rikkivedystä, öljystä ja vedestä sekä muista mahdollisista epäpuhtauksista ja nesteytetään. Vesi ja hiilidioksidi voisivat aiheuttaa vakavia ongelmia jäätymällä maakaasun nesteytyksessä. Nesteytys tapahtuu jäähdyttämällä maakaasu riittävän alhaiseen lämpötilaan, eli vähintään  $-162\text{ }^{\circ}\text{C}$ :een. LNG on korroosiota aiheuttamatonta, kirjasta ja väritöntä kuten vesi ja sen tiheys on puolet veden tiheydestä. (LNG Information Paper no.2 2009.)

Nesteytyksen jälkeen seuraa kolmas prosessin vaihe, jolloin LNG kuljetetaan tuontiterminaalisiin. Kuljetus tapahtuu yleensä meriteitse, mutta myös junia ja reikkoja käytetään kuljetuksissa. Tuontiterminaalissa, LNG varastoidaan ennen seuraavaa vaihetta eli uudelleenhöyryttämistä, tai siirtämistä nestemäisenä pienoisterminaalisiin. Siirto tapahtuu yleensä LNG-kuljetuksiin tarkoitetuilla kuorma-autoilla, mutta mahdollisuuksien mukaan voidaan myös käyttää junia tai laivoja. Höyryttämisen jälkeen maakaasuun lisätään usein vielä hajustetta, koska muuten vuotojen havaitseminen on haastavaa. Hajustetta lisätään varsinkin jos kaasua toimitetaan suoraan kotitalouksiin. (LNG Information Paper no.2 2009.)

[LNG Chain](#)



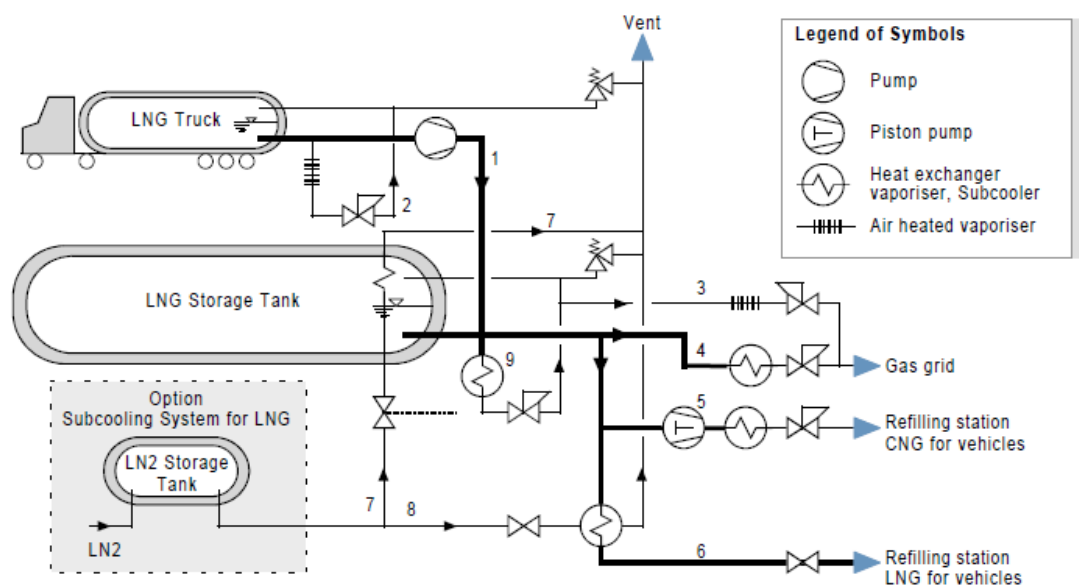
Kuvio 1. LNG:n prosessiketjun eri vaiheet (LNG Chain Gross 2010).

## 5 LNG-PIENOISTERMINAALIN RAKENNE JA TOIMINTA

### 5.1 Terminaalin rakenne

Terminaali koostuu seuraavista kokonaisuuksista. (SFS-EN 13645:2001, 18):

- tankkausasema, eli paikka jonne LNG- tuodaan esimerkiksi laivalla tai LNG- kuljetuksiin tarkoitettulla rekoilla
- LNG- tankki tai tankit. Näissä LNG:tä varastoidaan
- paineenkehitysyksikkö, jolla säädellään säiliöpainetta
- cold box eli höyrystinyksikkö, jonka tarkoituksena on höyrystää LNG jälleen maakaasuksi
- prosessinhallinta- ja turvallisuusjärjestelmät.



Kuvio 2. Esimerkki LNG pienoisterminaalista ja tankkausasemasta (SFS-EN 13645:2001, 18).

### 5.2 Tankkausasema

Tankkausasemalla ajoneuvo, jolla nesteytetty maakaasu tuodaan, liitetään säiliöön kuvan 2 osoittamalla tavalla. Linjaa 1 pitkin pumpataan siis nesteytetty maakaasu

säiliöön, linjan 2 tarkoitus on höyrystää pieni määrä LNG:tä ja täyttää auton säiliötä maakaasulla samassa suhteessa kuin LNG:tä pumpataan varastosäiliöön. (SFS-EN 13645:2001, 18.)

Liittimien sopivuus LNG- rekkojen ja terminaalien välillä tulee varmistaa LNG:n toimittajan/toimittajien kanssa. Liittimistä on olemassa erilaisia, mutta järkevää olisi käyttää niin sanottuja tippavapaita pikaliittimiä, jotka ovat nopeampia ja turvallisempia kuin kierreläitimet. (SFS-EN 13645:2001, 18.)

### 5.3 Säiliö

Säiliön tehtävä on varastoida LNG:tä ja pitää se nesteytettyssä muodossa. Säiliö ei periaatteessa voi olla koskaan täysin täynnä LNG:tä, vaan yläosassa vaippaa on kaasumaista maakaasua, jota käytetään yleisesti nimitystä boil off gas. (LNG Information Paper no.2 2009.)

Säiliöt ovat yleensä kaksiosaisia ja säiliöiden välille pumpataan tyhjiö, jossa on lisäeristeenä perliitti tai mineraalivilla. Säiliö voidaan sijoittaa sekä maan päälle, että maan alle. Maan alle sijoitettavissa ei välttämättä käytetä kaksiosaista vaippaa, vaan voidaan esimerkiksi valaa huone maan alle säiliölle. Huoneesta tehdään tyhjiö tai täytetään se työllä. Säiliö voi olla vertikaalinen, eli pystyssä, tai horisontaalinen eli vaakatasossa. Paineenkehityksikön tehtävä on valvoa paineastian sisäistä painetta ja tyhjiön alipainetta. (SFS-EN 13645:2001, 14-15.)

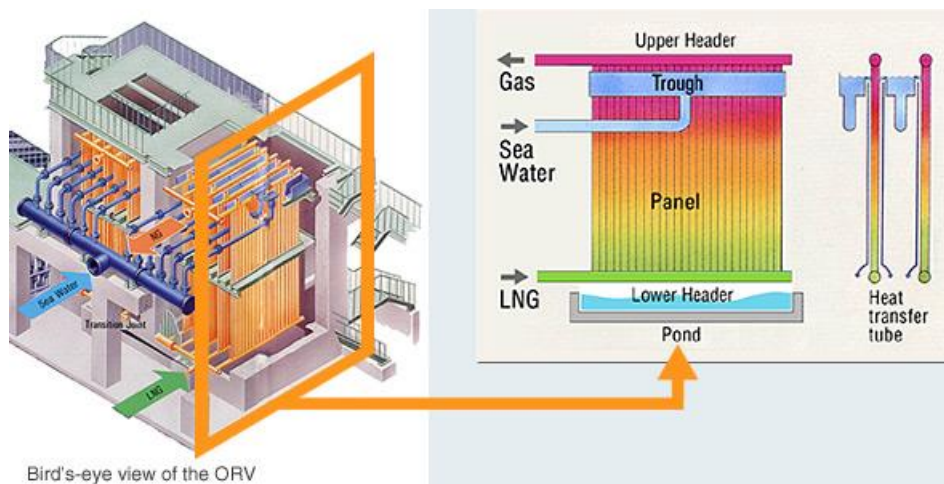
### 5.4 Höyrystinyksikkö

Höyrystinyksikön tehtävä on lämmittää ja muuttaa nesteytetty maakaasu takaisin kaasuksi. Niitä on käytössä neljään eri toimintamalliin perustuvaa. (LNG Information Paper no.2 2009.)

1. Open Rack Vaporisers (ORV)
2. Intermediate Fluid Vaporisers (IFV)
3. Submerged Combustion Vaporisers (SCV)
4. Ambient Air Vaporisers (AAV).

### 5.4.1 Open Rack Vaporisers (ORV)

Tämän tyyliässä höyrystimessä on pystysuuntaisia paneeleita, joiden alaosaan johdetaan LNG, yläosaan ulkopuolelle juoksetetaan merivettä. Vesi pääsee valumaan paneeleita pitkin alas ja samalla lämmittää paneeleiden sisällä olevan LNG:n. Höyrystynyt maakaasu nousee paneeleiden sisällä ylöspäin, josta se johdetaan eteenpäin. Toimintaperiaate on esitetty kuvassa 3. (LNG Information Paper no.2 2009.)



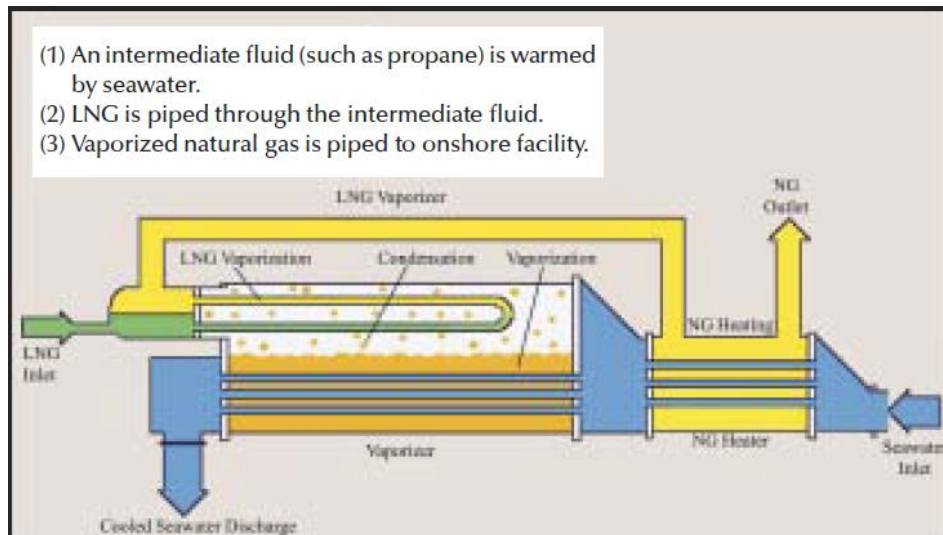
Kuvio 3. Open Rack Vaporisers periaatekuva (Tokyo Gas, [viitattu 24.3.2014]).

Mahdollisuuksien mukaan tulisi käyttää suolaista merivettä, joka ei jäädy niin helposti kuin järvi- tai jokivesi. Lisäksi veden virtausnopeuden tulee olla riittävän suuri, jotta vältetään jäätymiseltä. Suomessa ei ole otolliset olosuhteet tämän mallisen höyrystimen käyttöön, koska Itämeren suolapitoisuus on melko vähäinen.

### 5.4.2 Intermediate Fluid Vaporisers (IFV)

Tässä ratkaisussa on kaksi erillistä lämmönvaihdyksikköä, jotka toimivat sarjassa (LNG Information Paper no.2, 2009). Ensimmäisessä LNG kiertää putkessa, jota välittäjäkaasu, jona usein toimii propaani, lämmittää. Propaanin lämmitetään (meri)veden avulla. Toisessa lämmönvaihtimessa vesi lämmittää suoraan putkia, joissa höyrystynyt maakaasu kiertää. Tämä vaihtoehto on parempi Suomen oloissa kuin ORV, koska vesi ei suoranaisesti ole kosketuksissa LNG:n kanssa. Vastaavasti mallin valmistaminen on haastavampaa kuin ORV:n.

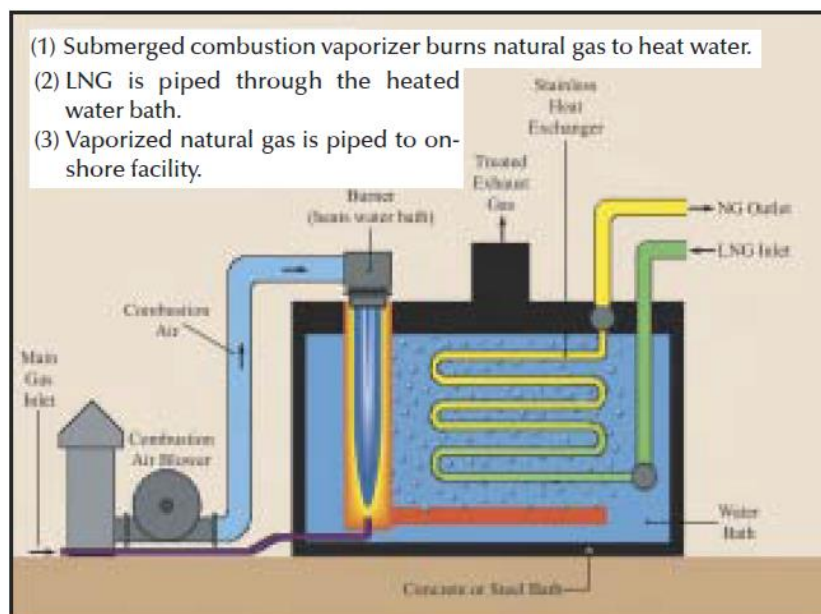




Kuvio 4. Intermediate Fluid Vaporiser periaatekuva (Kawamoto 2008).

### 5.4.3 Submerged Combustion Vaporisers (SCV)

Tässä höyrystinmallissa poltetaan terminaalin tuottamaa maakaasua ja lämmittää sillä altaassa olevaa vettä. Altaassa on putkisto, jonka sisällä LNG kiertää ja höyrystyy. Maakaasua kuluu veden lämmittämiseen noin 1,5 % siitä, mitä höyrystetään. SCV on varmasti varmatoimisempi malli kuin ORV tai IFV, mutta sen heikkous on energiankulutus. (LNG Information Paper no.2 2009.)



Kuvio 5. Submerged Combustion Vaporiser periaatekuva (Kawamoto 2008).

#### 5.4.4 Ambient Air Vaporisers (AAV)

Ambient Air Vaporiser on yleisimmin käytössä oleva höyrystinmalli pienoisterminaaleissa. Näissä lämmitys tapahtuu ilman avulla. LNG johdetaan putkistopattereihin, joissa se lämpiää ja höyrystyy. Joihinkin pattereihin on asennettu tuulettimet lisäämään ilmanvaihtoa. (LNG Information Paper no.2 2009). AAV:n heikkous on jäätyminen, kuten kuvio 6 osoittaa, sillä putkistopatterien pintaan tiivistyy helposti kosteutta joka jäätyy. Samalla kun pattereiden pinta jäätyy, myös sen teho laskee, koska jää toimii lämmöneristeenä.



Kuvio 6. Ambient Air Vaporiser (Regasification 2010).

#### 5.5 Prosessinhallintajärjestelmät

Prosessinhallintajärjestelmän tehtävä on valvoa höyrystysprosessia ja ohjata sitä. Ohjaaminen tapahtuu normaalisti PLC-logiikalla, joka valvoo niin säiliöiden painetta, kuin myös höyrystysprosessin toimintaa. Järjestelmään tulee ohjelmoida myös

automaattinen alasajo-ohjelma, mikäli LNG-terminaalia ajetaan miehittämättömänä. (SFS-EN 13645:2001, 7.)

## **5.6 Esijäähdytysyksikkö**

Esijäähdytysyksikkö ei ole välttämätön. Sitä käytetään jäähdyttämään LNG tankki ja putkistot, mikäli tankki on jostain syystä esimerkiksi päässyt tyhjäksi ja lämmentynyt. Jäähdyttämällä tankki ja putkistot vältetään LNG:n ylimääräinen höyrystyminen. Jäähdytinaineena käytetään tavallisesti nestemäistä typpeä. Esijäähdytysyksikköä tulee harkita etenkin silloin, kun LNG:n käyttö on kausittaista, esimerkiksi jos sitä käytetään vara- tai lisäpolttoaineena lämpölaitoksien yhteydessä. Tällöin voidaan kesäisin päästää LNG-säiliö lämpöiseksi ja syksyn tullen jäähdyttää se uudelleen valmiiksi LNG saapumista varten. (SFS-EN 13645:2001, 18.)

## 6 LNG-PIENOISTERMINAALIA KOSKEVAT LAIT

LNG-pienoisterminaalien osia, joihin voi kehittyä yli- tai alipainetta kutsutaan painelaitteiksi. Näitä osia koskee painelaitelaki (869/1999), jossa säädetään painelaitteita koskevia säädöksiä. Maakaasun varastoinnista säädetään omassa asetuksessa (551/2009), ja siitä selviää muun muassa terminaalien tarvitsema rakennuslupa.

### 6.1 Maakaasun varastointi

Maakaasun varastoinnista säädetään valtioneuvoston asetuksessa maakaasun käsittelyn turvallisuudesta 9.7.2009 seuraavasti:

Maakaasun varastoinnille vaaditaan rakentamislupa, jos varastoitavan maakaasun määrä on vähintään 5 tonnia. Jos varastointimäärä on yli 0,2 tonnia mutta alle 5 tonnia, varastoinnista on tehtävä ilmoitus.

Lupaa on haettava tai ilmoitus tehtävä ennen yksityiskohtaisten toteutusratkaisujen tekemistä hyvissä ajoin ennen varaston rakennustöiden aloittamista.

Jos maakaasun varastointimäärä on vähintään 50 tonnia, varastoinnissa tulee ottaa huomioon vaarallisten kemikaalien teollisesta käsittelystä ja varastoinnista annetun asetuksen (59/1999) suuronnettomuusvaaran torjuntaa koskevat velvoitteet.

Rakentamislupaa haetaan turvatekniikan keskukselta. Lupahakemuksessa tulee olla seuraavat tiedot:

#### **Toiminnanharjoittajaa koskevat tiedot**

1. Hakijan nimi, toimiala ja kotipaikka.
2. Kyseessä olevan varaston sijaintipaikkakunta, käyntiosoite ja postiosoite sekä selvitys siitä, että hakija hallitsee varaston aluetta.
3. Varastosta vastaavan henkilön nimi ja asema.

## **Yleistiedot toiminnasta**

1. Arvio varaston käyttöönoton ajankohdasta.
2. Kuvaus varaston toiminnasta ja erityisesti siitä, miten maakaasun varastointi on suunniteltu pääasiassa tapahtuvaksi sekä tarvittaessa kaaviopiirros.
3. Selvitys varastoitavan maakaasun määrästä ja varastointitapa.
4. Selvitys mahdollisista muista kemikaaleista, joita varastointiin liittyy.
5. Selvitys siitä, miten maakaasun varastointiin liittyvät vaarat ja niistä mahdollisesti aiheutuvat onnettomuudet on tunnistettu sekä miten onnettomuuksien seuraukset ja riskit arvioidaan. Selvityksestä tulee käydä ilmi tehtävät analyysit ja arvioinnit sekä menettelyt, joilla varmistetaan, että tulokset otetaan huomioon suunnittelussa, toteutuksessa ja käytössä.

## **Varaston sijoittaminen**

1. Laitoksen sijaintipaikan karttapiirros, josta näkyy varastoa ympäröivä vähintään 500 metrin levyinen vyöhyke rakennuksineen, rakennelmineen ja muine kohteineen, joissa voi olla ihmisiä. Karttapiirrosta tulee täydentää selostuksella, josta käy ilmi vaarassa olevien kohteiden luonne ja arvio vaarassa olevien ihmisten määrästä. Lisäksi selvitetään muut ulkopuoliset toiminnot kuten liikenne ja muut tuotantolaitokset.
2. Selvitys varaston tontin kaavoituksesta sekä lähiympäristön kaavoitustilanteesta.
3. Arvio varaston sijoituksen kannalta merkittävimpien tunnistettujen onnettomuuksien laajuudesta ja vakavuudesta, sekä niiden vaikutuksesta ihmiseen, ympäristöön tai omaisuuteen.
4. Varastoinnista mahdollisessa onnettomuustilanteessa aiheutuvat lämpösäteily- ja painevaikutukset (laskelmat). (TUKES opas K1, 2010, 7-8.)

## 6.2 Painelaitteet

Painelaitteista on olemassa oma Painelaitelaki 869/1999, jota sovelletaan painelaitteisiin, joihin katsotaan kuuluvan säiliö, putkisto tai tekninen kokonaisuus, johon voi kehittyä ylipainetta. Laitteet on myös suunniteltava siten, että mahdollisen laiteaurion, käyttöhäiriön tai toimintavirheen sattuessa vahingot ovat mahdollisimmat vähäiset. (L 27.8.1999/869.)

Lainsäädännössä korostetaan painelaitteen valmistajan, omistajan ja haltijan vastuuta painelaitteen turvallisuudesta. Vaativimmat painelaitteet ja laitekokonaisuudet pitää tarkastaa ennen markkinoille saattamista ja niille on tehtävä käytönaikaisia tarkastuksia. (TUKES opas painelaitteet, [viitattu 15.3.2014].)

Painelaitteiden suunnitteluun on hyvin pitkälle kehittyneitä ohjelmia, joiden avulla voidaan suunnitella standardien mukaisia painesäiliöitä, putkistoja ja lämmönvaihdimia. Esimerkiksi Ohm Tech AS:n Visual Vessel Desing -ohjelmalla voidaan suunnitella painelaitteita useiden eri standardien mukaan.

### 6.2.1 Tarkastuslaitokset

Painelaitteiden tarkastuksia voivat tehdä seuraavanlaiset tarkastuslaitokset (TUKES opas painelaitteet, [viitattu 15.3.2014]).:

- ilmoitettu laitos
- päteväintilaitos
- käyttäjien tarkastuslaitos
- hyväksytty laitos
- omatarkastuslaitos.

Ilmoitettuna laitoksena voi toimia kauppa- ja teollisuusministeriön nimeämä laitos.

Ilmoitetun laitoksen tehtävä arvioida markkinoille saatettavien painelaitteiden tai laitekokonaisuuksien vaatimustenmukaisuutta, antaa materiaalien eurooppalaiset hyväksynnit ja tekee mahdollisia erityistehtäviä. Vaatimustenmukaisuuden arviointiin sisältyy painelaitetyyppien, suunnitelmien, valmistettujen painelaitteiden ja laatu järjestelmien hyväksy-

misiä sekä laatujärjestelmien ja valmistajan tekemien loppuarviointien valvontaa. (TUKES OPAS PAINELAITTEET[viitattu 17.3.2014])

Pätevöintilaitokset voivat pätevoidä ja hyväksyä henkilöitä, jotka voivat tarkastaa ja hyväksyä pysyvien liitosten rikkomatonta aineenkoetusta. Myös pysyvien liitosten menetelmät pätevöintilaitos voi hyväksyä. Pätevöintilaitos on kauppa- ja teollisuusministeriön tunnustama laitos. (TUKES opas painelaitteet, [viitattu 16.3.2014].)

Käyttäjien tarkastuslaitos on painelaitteiden omistajien hallinnassa oleva tarkastuslaitos ja se toimii kuten ilmoitettu laitos, mutta voi tehdä arviointeja vain omistajan käyttöön tuleville painelaitteille. Laatujärjestelmän ja tyyppihyväksynnän voi kuitenkin tehdä ainoastaan ilmoitettu laitos. Käyttäjien tarkastuslaitos on kauppa- ja teollisuusministeriön nimeämä laitos. (TUKES opas painelaitteet, [viitattu 17.3.2014].)

Hyväksytty laitos on TUKES:in hyväksymä laitos, joka tekee painelaitteiden käyttöön liittyviä tarkastuksia ja muita säädettyjä toimenpiteitä, kuten:

- sijoitussuunnitelman tarkastus
- painelaitteen määräaikaistarkastukset
- painelaitteiden seurannasta sopiminen tai kunnonvalvontajärjestelmän vahvistaminen
- kattilalaitoksen vaaran arvioinnin asianmukaisuuden tarkastus
- kuljetettavien painelaitteiden täyttölaitosten ja täyttöpaikkojen tarkastukset
- kattilalaitoksen käytön valvojan pätevyyskirjan antaminen
- käytössä olevien painelaitteiden asennus-, korjaus- ja muutostöiden tarkastukset .

Omatarkastuslaitos voi tehdä käytönaikaisia tarkastuksia, sekä muita toimenpiteitä, joita on säädetty tietyille painelaitteiden käyttäjien ryhmälle. Useiden painelaitteiden omistajan tarkastuslaitos voi organisoitua tarvittaessa omatarkastuslaitokseksi. Omatarkastuslaitokselta vaaditaan TUKES:in antama hyväksyntä. (TUKES opas painelaitteet, [viitattu 19.3.2014])

### 6.2.2 Luokittelu

Painelaitteet jaetaan suunnittelua, valmistusta ja vaatimustenmukaisuuden arviointia varten kahteen ryhmään, joista toisessa on noudatettava olennaisia turvallisuusvaatimuksia ja toisessa hyvää konepajakäytäntöä, hyvän konepajakäytännön laitteisiin ei tässä työssä keskitytä. Painelaitteet ja laitekokonaisuudet, joissa noudatetaan olennaisia turvallisuusvaatimuksia, luokitellaan kasvavan riskin mukaan neljään luokkaan I-IV. (TUKES opas painelaitteet, [viitattu 15.3.2014])

#### LUOKITUSTA VARTEN ON TIEDETTÄVÄ:

1. painelaitteen tyyppi, eli onko kyseessä säiliö, putkisto, höyryn tai ylikuumentuneen veden tuotannon painelaite, varolaite tai paineenalainen lisälaite.
2. suurin sallittu käyttöpaine (PS), tilavuus (V) tai nimellissuuruus (DN) tapauksesta riippuen.
3. sisällön luokittelu kaasuksi vai nesteeksi.
4. sisällön vaarallisuus: ryhmän 1 vai ryhmän 2 sisältö. (TUKES ohje k1 2010.)

LNG-pienoisterminaalissa sijaitsee säiliö ja putkistot, joille on kaikille tehtävä oma luokituksensa. Luokitus tapahtuu TUKES:in ohjeiden mukaan. Taulukosta 2 nähdään painelaitteiden luokitteluperusteet. TUKES:in ohjeiden mukaan kaasulla tarkoitetaan tässä tapauksessa myös nesteytettyjä kaasuja, joten LNG on tässä tapauksessa kaasu. Sisältö luetaan kuuluvaksi vaarallisiin, koska maakaasu on erittäin helposti syttyvää (LNG käyttöturvallisuustiedote 2012, 9).

Sisällön ryhmä 1 käsittää vaaralliset sisällöt, jotka määritellään kemikaaliasetuksen (675/1993) 3 §:ssä räjähtäviksi, erittäin helposti syttyviksi, helposti syttyviksi, syttyviksi (jos korkein sallittu lämpötila on korkeampi kuin leimahduspiste), erittäin myrkyllisiksi, myrkyllisiksi tai haettaviksi. (TUKES opas painelaitteet, [Viitattu 17.3.2014].)



Taulukko 2. Painelaitteen luokittelu (TUKES OPAS PAINELAITTEET [Viitattu 17.3.2014])

PAINELAITTEIDEN LUOKITTELU KTMp 938/1999, liitteen II kuvat 1-9									
1. Painelaitteen tyyppi	Säiliöt				Höyryn tai yli- kuumennetun veden tuotannon painelaitteet	Putkistot			
2. Luokitusperuste	PS, V				PS, V	PS, DN			
3. Sisältö	Kaasu		Neste		-	Kaasu		Neste	
4. Sisällön ryhmä	1	2	1	2	-	1	2	1	2
5. Kuva ⇨ ⇨ ⇨	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Taulukon 2 kuva kohdalla viitataan KTM 938/1999 päätöksen liitteessä 2 oleviin kuviin. LNG-säiliön tapauksessa siis kuvaan 1 ja LNG-putkistojen tapauksessa kuvaan 6, molemmat kuvat ovat liitteessä 1 opinnäytetyön lopussa. Kuvien perusteella painelaitteet siis luokitellaan taulukon 3 mukaisiin luokkiin.

Taulukko 3 Vaatimustenmukaisuudet (TUKES opas painelaitteet [Viitattu 17.3.2014], 7).

VAATIMUSTENMUKAISUUDEN ARVIOINTIMENETTELYT MODUULI TAI MODUULIYHDISTELMÄ		
LUOKKA I	LUOKKA II	LUOKKA III
A	A1	B1 + D
	D1	B1 + F
	E1	B + E
		B + C1
		H
Arviointimenettely (moduuli)		Kuvaus
A	Valmistuksen sisäinen tarkastus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin.
A1	Valmistuksen sisäinen tarkastus ja loppuarvioinnin valvonta	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat ja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo.
B	EY-tyyppitarkastus	Ilmoitettu laitos tarkastaa tyyppin vaatimustenmukaisuuden.
B1	EY-suunnitelmataarkastus	Ilmoitettu laitos tarkastaa suunnitelman vaatimustenmukaisuuden.
C1	Tyypinmukaisuus	Valmistaja tekee loppuarvioinnin, jota ilmoitettu laitos valvoo.
D	Tuotannon laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
D1	Tuotannon laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa valmistuksessa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
E	Tuotteiden laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
E1	Tuotteiden laadunvarmistus	Valmistaja laatii tekniset asiakirjat sekä soveltaa testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
F	Tuotekohtainen todennus	Ilmoitettu laitos tekee tuotekohtaisen loppuarvioinnin.
G	Yksikkökohtainen EY-todennus	Ilmoitettu laitos tekee tuotteen suunnitelma- ja loppuarvioinnin.
H	Täydellinen laadunvarmistus	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos.
H1	Täydellinen laadunvarmistus ja suunnitelmataarkastus sekä loppuarvioinnin erityisvalvonta	Valmistaja soveltaa suunnittelussa, valmistuksessa, testauksessa ja loppuarvioinnissa laatu järjestelmää, jonka hyväksyy ja jonka noudattamista valvoo ilmoitettu laitos. Lisäksi ilmoitettu laitos tekee suunnitelmataarkastuksen ja valvoo loppuarviointia.

### 6.2.3 Suunnittelu

Painelaitteiden suunnittelu tulee tapahtua SFS-EN standardien mukaan, lämmitettävimmille painesäiliöille on standardi SFS-EN 13445 ja putkistoille SFS-EN 13480. Painelaitteita koskevat standardit laaditaan CENin eri teknisissä komiteoissa.

Standardit jaotellaan seuraavasti:

- yhdenmukaistetut tuotestandardit
- yhdenmukaistetut apustandardi
- apustandardit. (Painelaitestandardit, 2006, 2.)

CEN on julkaissut 213 painelaitedirektiiviin liittyvää standardia, standardin muutosta tai muuta julkaisua, joista yhdenmukaistettuja on 115. Painelaitedirektiivin soveltamiseen on laadittu ohjeita, jotka ovat sovittuja tulkintoja ja kaikkien jäsenvaltioiden hyväksymiä, ja ne ovat luettavissa TUKES:in sivuilta. Soveltamisohjeiden tarkoitus on auttaa valmistajia, tarkastuslaitoksia ja viranomaisia toimimaan direktiivin mukaan. (Painelaitestandardit 2006, 2.)

#### **6.2.4 Valmistus**

Painesäiliöiden valmistamisesta on olemassa standardi: SFS-EN 13445-4 Lämmitettävät Painesäiliöt. OSA 4:valmistus. Standardia tulee noudattaa valmistettaessa painelaitteita. Valmistuksen valvonta tulee järjestää selkeästi ja henkilöstön tulee olla tehtäviinsä pätevät.

Jos painelaite valmistetaan hitsaamalla, hitsauksen laatuvaatimuksien tulee täyttää vähintään standardi EN ISO 3834-3:2005. Hitsattaessa painesäiliötä valmistajalla on oltava hitsausohjeet (WPS) standardin EN ISO 15609-1:2004 mukaan. Paineen kuormittamien hitsien valmistajalla tulee olla myös menetelmäkoe suoritettuna ja hyväksyttynä.

Valmistajan tulee säilyttää käytettävien materiaalien jäljitettävyyys painetta kantavissa osissa, koskien myös hitsauslisäaineita. Materiaalimerkinnot tulee olla luettavissa valmiin säiliön jokaisesta osasta. (SFS-EN 13445-4 2012, 12.)

SFS-EN 13445 määrittelee myös valmistustoleranssit, joita tulee noudattaa. Valmistetusta säiliöstä tulee tehdä tosimitäpiirustus, josta voidaan todentaa, että säiliö on valmistettu toleranssien mukaan.

### 6.2.5 CE-merkintä

CE-merkinnällä valmistaja ilmoittaa painelaitteen tai painelaittekokonaisuuden olevan suunniteltu ja valmistettu niin, että olennaiset turvallisuusvaatimukset täyttyvät ja että vaatimustenmukaisuuden arviointi on tehty. Valmistaja kiinnittää merkinnän painelaitteeseen pysyvästi, näkyvälle paikalle painelaitteeseen tai siihen kiinnitettyyn kilpeen. Merkinnät, jotka kilvestä tulee löytyä ovat seuraavat:

- ilmoitetun laitoksen tunnusnumero, jos ilmoitettu laitos on ollut mukana valmistuksen tarkastusvaiheessa eli luokkien II, III ja IV arviointimenettelyissä
- valmistajan nimi ja osoite tai muu
- yksilöivä tunnus
- valmistusvuosi
- painelaitteen tunnus, esimerkiksi tyyppi,
- sarja- tai eränumero ja valmistusnumero
- olennaiset korkeimmat / alimmat sallitut raja-arvot. (TUKES opas painelaitteet, [Viitattu 19.3.2014], 8.)

## 7 LNG-PIENOISTERMINAALIN SUUNNITTELU

Maalla olevien LNG-pienoisterminaalin suunnittelusta on julkaistu oma standardi SFS-EN 13645. Siinä käsitellään varastointikapasiteetiltaan 5 t - 200 t olevia pienoisterminaaleja. Standardissa ei käsitellä säiliön täyttölaitteita. Lisäksi standardissa SFS-EN 1160:1996 annetaan ohjeita itse LNG-järjestelmien suunnitteluun. Kuljetettavien kaasusäiliöiden täyttö- ja tyhjennysasemille on olemassa standardit SFS 3341 ja SFS 3345, joista ensinnä mainittua sovelletaan LNG-terminaaleissa.

### 7.1 Turvallisuussuunnitelma

Turvallisuussuunnitelman tarkoituksena on minimoida riskit omaisuudelle ja elämälle terminaalialueen sisä- ja ulkopuolella. Turvallisuussuunnitelman tulee sisältää riskikartoituksen ja asianmukaiset arviot seuraamuksista riskien mahdollisesti toteutuessa. Suunnitelman tulisi myös sisältää turvallisuus mittarit ja ohjeet, miten operaattorin tulee ehkäistä riskejä. (SFS-EN 13645:2001, 8.)

Turvallisuussuunnitelma tulee tehdä mahdollisimman aikaisessa vaiheessa suunnittelua ja sitä tulee revisioida suunnittelun aikana kohdattavien riskien mukaan. HAZOPia tai vastaavaa järjestelmää tulee käyttää prosessissa tapahtuvien riskien poistamiseksi. (SFS-EN 13645:2001, 8.)

HAZOP-poikkeamatarkastelu on yleisesti prosessiteollisuudessa käytössä oleva järjestelmä. Poikkeamatarkastelu suoritetaan erityisistä avainsanoista ja toimitasuureista muodostettujen poikkeamien avulla, LNG-pienoisterminaalin tapauksessa esimerkiksi: korkea lämpötila, korkea paine jne. Yhdistettäessä avainsana prosessisuureeseen syntyy poikkeama. Taulukossa 4 on esitettyä poikkeaman muodostaminen prosessisuureen avulla. (Poikkeamatarkastelu (HAZOP) – Menetelmän kuvaus, Viitattu 1.4.2014.)

Taulukko 4. Poikkeaman muodostaminen avainsanan ja prosessisuureen avulla (Poikkeamatarkastelu (HAZOP) – Menetelmän kuvaus, Viitattu 1.4.2014)

avainsana	esimerkki poikkeamasta
ei, ei mitään	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ei virtausta</li> </ul>
enemmän	<ul style="list-style-type: none"> <li>• suurempi virtaus</li> <li>• korkeampi lämpötila</li> <li>• enemmän komponenttia A</li> </ul>
vähemmän	<ul style="list-style-type: none"> <li>• alhaisempi lämpötila</li> <li>• matalampi pinta</li> </ul>
osaksi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• seossuhteen muutos</li> <li>• virtaus muualle</li> </ul>
päinvastoin	<ul style="list-style-type: none"> <li>• päinvastainen virtaus</li> </ul>
muuta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• muita toimintoja ja poikkeamia: <ul style="list-style-type: none"> <li>• käynnistys</li> <li>• pysäytys</li> <li>• kunnossapitotyö</li> <li>• sähkökatkos</li> <li>• jäähdytysveden</li> <li>• puute</li> </ul> </li> </ul>

Poikkeamatarkastelun yhteyteen voidaan liittää myös riskin määrittelyn karkealla tasolla. Vaaran syiden tunnistamisen ja seurauksien arvioinnin jälkeen kyseisen riskin suuruus voidaan määritellä. Tähän vaikuttaa myös tapahtuman todennäköisyys ja seurausten vakavuus. (Poikkeamatarkastelu (HAZOP) – Menetelmän kuvaus, Viitattu 1.4.2014)

## 7.2 LNG-säiliö

Säiliön tulee olla riittävän suuri, jotta se pystyy palvelemaan toimilaitetta, johon se on kytketty. Säiliön kokoon vaikuttaa siis kulutus ja sen lisäksi myös se, kuinka usein säiliötä voidaan tai pystytään täyttämään. Säiliöön tulee liittää myös instru-

mentit, joilla sen sisällön määrää ja painetta voidaan tarkkailla (SFS-EN 13645:2001, 15). Instrumenttien valinnassa täytyy muistaa lämpötilavaatimukset, joita LNG asettaa.

### 7.3 Ylipaine

Ylipaineen muodostuminen vaippaan tulee estää. Tämä tapahtuu yleisesti varoventtiilin tai -venttiilien avulla, jotka aukeavat ja päästävät ylipaineen pois tankista, jos tapahtuu hallitsematonta paineennousua. Ylipainetta saattaa syntyä niin äkkinäisen lämpötilan kohoamisen johdosta kuin myös säiliön täytön yhteydessä, jos säiliössä oleva ja säiliöön tuleva LNG ovat eri kemiallista koostumusta. Lisäksi LNG-säiliöissä on normaalisti yhde, josta jo tankissa höyrystynyt maakaasu, niin sanottu boil-of gas, otetaan talteen ja johdetaan esimerkiksi maakaasuverkostoon, jolloin saadaan säiliön paine pidettyä tasaisena. (SFS-EN 13645:2001, 15.)

### 7.4 Materiaalisuunnittelu

LNG asettaa materiaaleille kovat vaatimukset erittäin alhaisen lämpötilansa vuoksi. Materiaaleista, joita voidaan käyttää kosketuksissa nesteytetyn maakaasun, kanssa löytyvät listat standardista SFS-EN 1160 ja tämän opinnäytetyön liitteestä 2. Listat ovat kuitenkin vain opastavia, joten muitakin materiaaleita on mahdollisuutta käyttää, jos niillä on tarvittavat ominaisuudet LNG:n vaatimissa lämpötiloissa ja ne täyttävät SFS-EN 10028 standardin vaatimukset.

Käytännössä materiaalit ovat austeniittisia ruostumattomia teräksiä, joilla on hyvä iskutkeys matalissa lämpötiloissa (Ruostumattomat teräkset 2001). Austeniittisten ruostumattomien terästen lisäksi vaihtoehtoisesti voidaan käyttää myös feronikkeli- ja nikkeliteräksiä, joilla on myös hyvät iskutkeydet matalissakin lämpötiloissa (SFS-EN 1160:1996, 10).

Materiaalin valinnassa materiaalikustannukset vaikuttavat päätökseen. Nikkeliterästen laskentalujuudet ovat korkeammat kuin ruostumattomilla teräksillä, joten ainevahvuudet ovat pienemmät ja näin ollen voidaan tehdä kevyempiä säiliöitä

(SFS-EN 10028-7, 24; SFS-EN 10028-4, 12). Ainevahvuuksien pienetessä myös hitsauslisäaineen kulutus vähenee. Austeniittisten ruostumattomien terästen ja nikkelterästen hintaan vaikuttaa teräksen perushinta ja seosaineiden hintakehitykseen perustuva seosainelisa (Outokumpu hinnoittelu, [viitattu 15.4.2014]).

## **7.5 Perustukset**

Terminaalialueen perustukset tulee tehdä yleisten rakentamisohjeiden mukaan. Jos rakennetaan alueelle, jossa on seismistä aktiivisuutta, on otettava huomioon myös maanjäristykset (SFS-EN 13645:2001, 14). Perustukset tulee eristää myös niin, ettei maaperän lämpö pääse johtumaan säiliöön. Perustuksia tehdessä tulee ottaa huomioon myös, että metalliset LNG-pienoisterminaalin laitteet tulee maadoittaa ja suojata salamoinnilta. Säiliötä ei voi maadoittaa putkien välityksessä, vaan siinä on oltava oma suora maadoitus. (SFS-EN 13645:2001, 17.)

## **7.6 LNG-terminaalin putkistot**

Putkistot tulee suunnitella ja valmistaa standardin SFS-EN 13480 mukaan ja niin, että niissä käytetään mahdollisimman vähän laippaliitoksia, koska jokainen laippaliitos on mahdollinen vuotokohta. Venttiilitkin tulee mahdollisuuksien mukaan olla hitsattavaa mallia. Putkiston kannakoinnissa ja valmistuksessa tulee ottaa huomioon lämpölaajenemisien vaikutukset. Mahdollisten laippaliitosten vaikutus putkistojen maadoitukseen tulee huomioida ja jokainen putkiston osa tulee olla maadoitettu.

Putkistojen ja säiliön eristäminen tulee suunnitella ja toteuttaa huolellisesti. Eristysmateriaalit, joita voidaan käyttää, on kerrottu standardissa SFS-EN 1160, lista on esitettyä myös tämän työn liitteessä 2 (SFS-EN 13645:2001, 14). Eristysmateriaali päällystetään normaalisti eristyspellillä, jonka tehtävä on suojata materiaalia, sekä parantaa esteettisyyttä.



## 7.7 Täyttöasema

Standardi SFS 3341 antaa ohjeet kuinka valmistetaan turvallinen tyhjennysasema kuljetettavalle painesäiliölle, jossa kuljetetaan luokkaan 2 kuuluvia vaarallisia aineita. Standardissa kerrotaan rakennemääräykset ja vaara-alueet niin ulko- kuin sisätiloissa olevalle tyhjennysasemalle, teknisien laitteiden vaatimukset ja suunniteluohjeet, käyttöopastuksesta, tarkastuksesta ja valvonnasta. (SFS 3341: 1986.)

Täyttöaseman suunnittelussa tulee huomioida, että myös ajoneuvo, josta LNG pumpataan terminaaliin, on maadoitettava (SFS-EN 13645:2001, 17). Suunnittelu tulee tehdä yhdessä kaasuntoimittajan tai toimittajien kanssa, jotta voidaan varmistua liittimien yhteensopivuudesta ja kuunnella heidänkin mielipidettä terminaalin yleislayoutista, jotta voidaan varmistaa LNG:n kuljetuskalustolle mahdollisimman helppo ajoväylä. Täyttöasemalta tulee olla myös mahdollisuus poistua esteettömästi. (SFS 3341: 1986.)

## 8 YHTEENVETO

LNG:n lämpötila on vain -162 °C joten se asettaa materiaaleille kovat vaatimukset. Materiaalit, joita voidaan käyttää suorassa kosketuksessa LNG:n kanssa, ovat austeniittisia ruostumattomia teräksiä tai nikkelteräksiä. Standardista SFS-EN 1160 löytyy opastava lista materiaaleista, joita voidaan käyttää putkistojen, säiliöiden, tiivisteiden ja eristeiden materiaaleina.

LNG luokitellaan käyttöturvallisuustiedotteessa vaaralliseksi kaasuksi ja sen hallitsematon höyrystyminen aiheuttaa turvallisuusriskejä. Matalan lämpötilan vuoksi se voi aiheuttaa myös vakavia paleltumia. Nämä riskit tulee mahdollisuuksien mukaan eliminoida, kuten eristämällä suorassa kosketuksessa sen kanssa olevat osat mahdollisuuksien mukaan. Sisätiloissa pitää huolehtia riittävästä ilmanvaihdosta, koska maakaasua voi päästä vuotamaan putkistoista. Ulkona maakaasu haihtuu nopeasti ilmakehään. Pienoisterminaalissa työskentelevien tulee tiedostaa nämä turvallisuusriskit, jotta he osaavat huomioida ne.

LNG-pienoisterminaalin suunnittelun ja valmistuksen pitää noudattaa Suomen lakeja ja Euroopan unionin direktiivejä. Laeista suurimmassa roolissa ovat painelaitelaki (869/1999) ja laki vaarallisten kemikaalien ja räjähteiden käsittelyn turvallisuudesta (390/2005), josta on koottu oma säädöskokoelma (551/2009) maakaasun käytöstä ja varastoinnista.

Suunnittelu kannatta toteuttaa mahdollisuuksien mukaan yhteistyössä TUKES:in ja tarkastuslaitosten kanssa. Yhteistyö on hyvä aloittaa jo varhaisessa vaiheessa suunnittelua, jotta vältetään mahdollisilta yllätyksiltä. Standardeja, joita LNG-pienoisterminaalin valmistuksessa ja suunnittelussa pitää noudattaa ovat seuraavat:

- SFS-EN 13645 NESTEYTETYN MAAKAASUN LAITTEISTO JA ASENNUKSET. MAALLA OLEVIENT LAITTEISTOJEN SUUNNITTELU. VARASTOINTIKAPASITEETTI 5 - 200 T
- SFS-EN 1160 NESTEYTETYN MAAKAASUN LAITTEISTOT JA ASENNUKSET. NESTEYTETYN MAAKAASUN YLEISET OMINAISUUDET

- SFS 3344 KULJETETTAVAT KAASUSÄILIÖT. TÄYTTÖ JA TYHJENNYSLAITOKSET
- SFS-EN 13445 LÄMMITTÄMÄTTÖMÄT PAINESÄILIÖT
- SFS-EN 13480 METALLISET TEOLLISUUSPUTKISTOT

## 9 OMAA POHDINTAA

Ukrainan kriisi on entisestään lisännyt länsimaiden halua päästä eroon riippuvuudesta Venäjän maakaasuun, mahdollisten maakaasuesiintymien on epäilty jopa olevan yksi suurimmista syistä, miksi Venäjä halusi Krimin niemimaan alueen hallinnan itselleen. Tämä on lisännyt Yhdysvaltojen kiinnostusta toimittaa nesteytettyä maakaasua liittolaisilleen Eurooppaan, jotta he voisivat vähentää Venäjältä tulevan maakaasun käyttöä. LNG-laitteistojen tarve lisääntyisi niin Euroopassa kuin Yhdysvalloissakin, jos Yhdysvallat aloittavat toimitukset.

LNG on tuomassa uusia mahdollisuuksia Suomen markkinoille, tällä hetkellä sen saatavuus Suomessa rajoittuu ainoastaan Porvoon Kilpilahdessa sijaitsevalta Gasumin nesteytysasemalle, josta sitä toimitetaan esimerkiksi Viking Gracelle. Porin Tahkoluotoon ja Tornion Röyttään mahdollisesti valmistuvat LNG-tuontiterminaalit avaavat oven myös pienoisterminaalien tarpeelle.

Suomesta löytyy tietotaitoa ja valmiuksia valmistaa terminaalit itse, vaikkakin EU-alueelta löytyy valmistajia joilla on valmiit konseptit olemassa. Yksi suomalaisista laitetoimittajista on Wärtsilä, joka on solminut sopimuksen Tornioon rakennettavan terminaalin laitetoimituksista (Wärtsilä 2014).

## LÄHTEET

Isotalo, K. 11.12.2013. [Verkkoartikkeli]. Gasetti 4/2013. [Viitattu 12.3.2014]. Saatavissa: <http://gasetti.fi/artikkeli/euroopan-kaasuinfrastrukturi>

Kawamoto, H. 2008. [Verkkoartikkeli]. Natural Gas Regasification technologies. [Viitattu 14.3.2014]. Saatavissa: [http://www.uscg.mil/proceedings/Winter2008-09/articles/76\\_Kawamoto\\_Natural%20Gas%20Regasification.pdf](http://www.uscg.mil/proceedings/Winter2008-09/articles/76_Kawamoto_Natural%20Gas%20Regasification.pdf)

L 27.8.1999/869. Painelaitelaki.

L 9.7.2009/551. Laki maakaasun käsittelyn turvallisuudesta.

LNG Chain Gross. 2010. [Verkkosivu]. Gas Oil Consulting & Engineering Company. [Viitattu 7.3.2014]. <http://www.goce.de/area-of-competences/lng.html>

LNG Information Paper no.1. 7.2.2009. [Verkkojulkaisu]. International group of liquidied natural gas importers [Viitattu 4.3.2014]  
[http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC\\_AREA/About\\_LNG/4\\_LNG\\_Basics/lng\\_1\\_-\\_basic\\_properties\\_7.2.09\\_aacomments-aug09.pdf](http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/About_LNG/4_LNG_Basics/lng_1_-_basic_properties_7.2.09_aacomments-aug09.pdf)

LNG Information Paper no.2. 7.3.2009. [Verkkojulkaisu]. International group of liquidied natural gas importers. [Viitattu 4.3.2014]  
[http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC\\_AREA/About\\_LNG/4\\_LNG\\_Basics/lng\\_2\\_-\\_lng\\_supply\\_chain\\_7.3.09-aacomments-aug09.pdf](http://www.giignl.org/sites/default/files/PUBLIC_AREA/About_LNG/4_LNG_Basics/lng_2_-_lng_supply_chain_7.3.09-aacomments-aug09.pdf)

LNG käyttöturvallisuustiedote. 13.6.2012. GASUM.

Maakaasu. 2014. [Verkkosivu]. Energiateollisuus. [Viitattu 28.1.2014]. Saatavissa: <http://energia.fi/energia-ja-ymparisto/energialahteet/maakaasu>

Open Rack Type LNG Vaporizer (ORV). Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Tokyo Gas. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.tokyo-gas.co.jp/lngtech/orv/index.html>

Outokumpu hinnoittelu. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Outokumpu Oyj. [Viitattu 15.4.2014]. Saatavissa: <http://www.outokumpu.com/fi/hinnoittelu-aaf/Sivut/default.aspx>

Painelaitestandardit. 10/2006. [Verkkojulkaisu]. Suomen Standardisoimisliitto SFS. [Viitattu 19.3.2014]. Saatavissa: <http://www.metsta.fi/julkaisut/esitteet/painelaite-ped.pdf>

Pihlava, M. 4.3.2014. Maakaasutermiinaali Satakuntaan – Gasum kaavailee ensimmäistä LNG-termiinaalia Poriin. [Verkkoartikkeli]. Tekniikka ja Talous. [Viitat-

tu 24.3.2014]. Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/maakaasutermiinaali+satakuntaan+ndash+gasum+kaavailee+ensimmaista+Ingtermiinaalia+poriin/a971794>

Poikkemataarkastelu (Hazop). Ei päiväystä. [Verkkajulkaisu]. VTT. [viitattu 1.4.2014]. Saatavissa:

[http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/riskianalyysit\\_poikkeamatarkastelu\\_hazop\\_m\\_k.jsp](http://www.vtt.fi/proj/riskianalyysit/riskianalyysit_poikkeamatarkastelu_hazop_m_k.jsp)

Pöysä, J. 17.01.2014. Viron ministeri pilkkoi Ing-termiinaalin. [Verkkajulkaisu]. Kauppalehti. [Viitattu 17.01.2014]. Saatavissa:

<http://www.kauppalehti.fi/etusivu/viron+ministeri+pilkkoi+Ing-termiinaalin/201401605841>

Regasification. 2010. [verkkajulkaisu]. Exponent Engineering and scientific consulting. [Viitattu 25.03.2014]. Saatavissa:

[http://www.exponent.com/LNG\\_regasification/](http://www.exponent.com/LNG_regasification/)

Ruostumattomat teräkset. 2001. Eri painos julkaisusta Muokatut teräkset. Teknologiateollisuus Oy.

SFS-EN 10028-4:2009. Nikkeliseostetut teräkset mataliin käyttölämpötiloihin. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS

SFS-EN 10028-7:2007. Ruostumattomat teräkset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS

SFS-EN 1160:1996. Nesteytetyn maakaasun laitteistot ja asennukset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS

SFS-EN 13645:2001. Nesteytetyn maakaasun laitteistot ja asennukset. Maalla olevien laitteustojen suunnittelu. Varatointikapasiteetti 5-200T. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS

SFS-EN 13445-4:2012. Lämmittämättömät painesäiliöt. Osa 4: Valmistus. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS

SFS 3341:1982. Kuljetettavat kaasusäiliöt. Täyttö- ja tyhjennyslaitokset. Helsinki: Suomen standardoimisliitto SFS

The engineer tool box. . Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Boiling Points of some common Fluids and Gases. [Viitattu 4.3.2014]

[http://www.engineeringtoolbox.com/boiling-points-fluids-gases-d\\_155.html](http://www.engineeringtoolbox.com/boiling-points-fluids-gases-d_155.html)

Tokyo Gas. Open Rack Vaporizer. Ei päiväystä [Verkkajulkaisu]. Tokyo Gas Co. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.tokyo-gas.co.jp/Ingtech/orv/>

Tornion Manga LNG - hanke. Ei päiväystä. [Verkkosivu]. Tornio Manga LNG Oy. [Viitattu 24.3.2014]. Saatavissa: <http://www.torniomangalng.fi/hankkeen-esittely/>

TUKES ohje K1. 2010. [Verkkojulkaisu]. Turvatekniikan keskus. [Viitattu 19.3.2014]. [http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tukes-ohje\\_K1-2010.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/Tukes-ohje_K1-2010.pdf)

TUKES opas painelaitteet. Ei päiväystä. [Verkkojulkaisu]. Turvatekniikan keskus. [Viitattu 17.3.14]. Saatavissa: [http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet\\_ja\\_opaat/painelaiteopas.pdf](http://www.tukes.fi/Tiedostot/painelaitteet/esitteet_ja_opaat/painelaiteopas.pdf)

Tuotantolaitokset. 2014. [Verkkosivu]. Gasum. [Viitattu 7.2.2014]. Saatavissa: <http://www.gasum.fi/Kaasutietoutta/Nesteytetty-maakaasu-LNG/Tuotantolaitokset/>

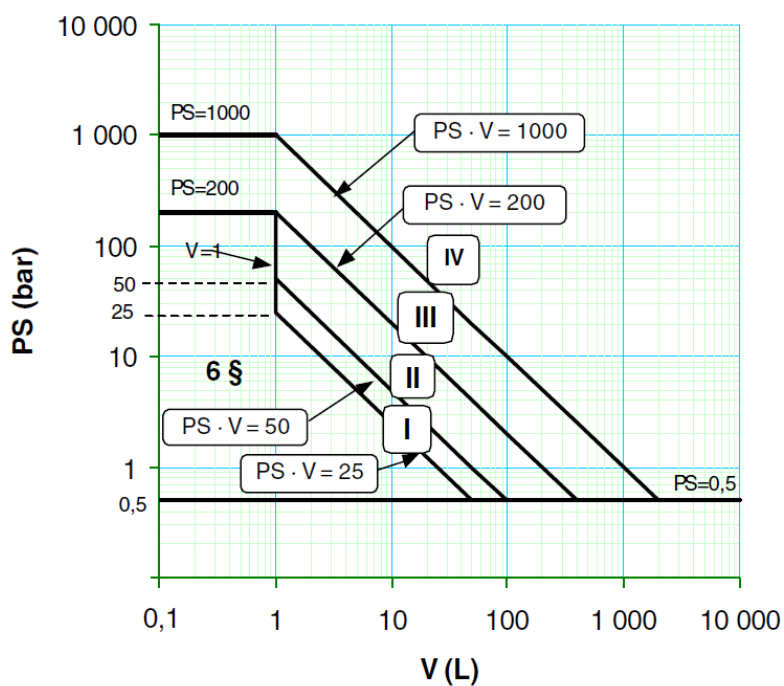
Vanamo, S. 13.1.2014. [Verkkoartikkeli]. Team Finland. [Viitattu 3.4.2014]. Saatavissa: <http://team.finland.fi/Public/default.aspx?contentid=296620&contentlan=1&culture=fi-FI>

Wärtsilä, 10.1.2014. [Lehdistötiedote verkossa]. Wärtsilä Oyj Abp. [Viitattu 4.4.2014]. Saatavissa: <http://www.wartsila.fi/fi/tiedotteet/wartsilalle-sopimus-lng-terminaalin-toimittamisesta-tornioon>

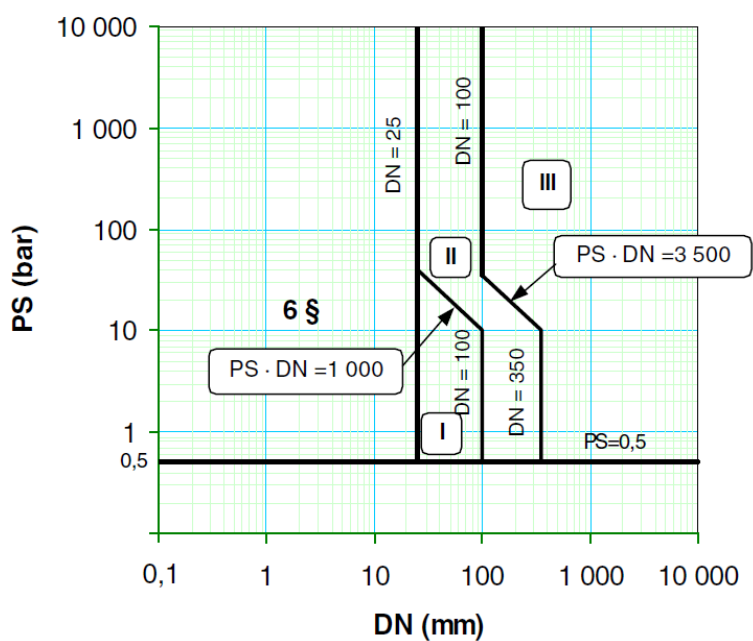
## LIITTEET



**LIITE 1. KTM 938/1999 Liite II Vaatimustenmukaisuuden määrittäminen kuva 1 ja kuva 6.**



*Kuva 1*



*Kuva 6*

**LIITE 2. Materiaalit joita voidaan käyttää kosketuksissa LNG:n kanssa ja materiaalit joita käytetään epäsuorassa kontaktissa LNG:n kanssa.**

**Table 3 : Main materials used in direct contact and general use**

Materials	General use
Stainless steel	Tanks, unloading arms, nuts and bolts, pipes and fittings, pumps, heat exchangers
Nickel alloys, ferronickel alloys	Tanks, nuts and bolts
Aluminium alloys	Tanks, heat exchangers
Copper and copper alloys	Seals, wearing surfaces
Asbestos <sup>1)</sup> , elastomer	Seals, gaskets
Concrete (prestressed)	Tanks
Epoxyd (resin)	Pump casings
Epoxy (silerite)	Electrical insulation
Fibreglass	Pump casings
Graphite	Seals, stuffing boxes
Fluoroethylene propylene (FEP)	Electrical insulation
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	Seals, stuffing boxes, bearing surfaces
Polytrifluoromonochloroethylene (Kel F)	Bearing surfaces
Stellite <sup>2)</sup>	Bearing surfaces
1) Asbestos may not be used in new installations.	
2) Stellite : Co 55 %, Cr 33 %, W 10 %, C 2 %.	

**Table 4 : Main materials not in direct contact under normal operations with LNG**

Materials	General use
Low alloyed stainless steel	Ball bearings
Concrete (Prestressed reinforced)	Tanks
Colloid concrete	Retention dykes
Wood (balsa, plywood, cork)	Thermal insulation
Elastomer	Mastic, glue
Glass wool	Thermal insulation
Rock wool	Thermal insulation
Exfoliated mica	Thermal insulation
Vinyl polychloride	Thermal insulation
Polystyrene	Thermal insulation
Polyurethane	Thermal insulation
Polyisocyanurate	Thermal insulation
Sand	Retention dykes
Calcium Silicate	Thermal insulation
Silica (glass)	
Foamed glass	Thermal insulation, Retention dykes
Perlite	Thermal insulation